

## Poglavlje 3

# Kratak osvrt na ćelijsku biologiju

---

### ***U ovom poglavlju***

Otkrivanje šta ćelije rade

Pogled izbliza na strukturu ćelije

Izražavanje genoma

Vrste tkiva od kojih je naše telo sačinjeno

---

**P**rema shvatanju biologa, život se odvija na pet nivoa organizacije, od kojih je ćelijski nivo prvi (više informacija o nivoima organizacije dato je u poglavlju 1). Osnovni princip biologije kaže da se svi organizmi sastoje od ćelija i da je sve ono što ima bar jednu ćeliju – organizam. Razumevanje osnova ćelijske biologije neophodno je za razumevanje bilo kog aspekta biologije, uključujući anatomiju i fiziologiju čoveka.

Prvo što moramo znati jeste činjenica da je ćelijska biologija neverovatno složena. Tek posle nekoliko godina ozbiljnog izučavanja možete steći detaljan uvid u stepen njene složenosti. Cilj ovog poglavlja je tek da vam dā predstavu o tome koliko je ćelijska biologija kompleksna kako bi se obezbedio kontekst za razumevanje različitih fizioloških čudesa koje opisujemo u narednim poglavljima.

### ***Funkcije ćelija***

Skoro sve anatomske strukture sastoje se od ćelija, a skoro sve fiziološke funkcije odvijaju se u ćelijama. Sveobuhvatni spisak funkcija ćelija nemoguće je ovde navesti, ali se funkcije ćelija mogu grupisati u nekoliko glavnih kategorija, što u sledećim odeljcima i činimo.

### ***Stvaranje ćelija***

Ćelije nastaju od drugih ćelija i nikako drugačije. Jednom u životu organizma, na samom njegovom početku, dve ćelije se spajaju da stvore novu ćeliju. Od tog trenutka pa do kraja života organizma, dve ćelije nastaju podelom jedne, a sve ćelije – u krajnjoj liniji – potiču od one prve. To je proces kojim

organizam sam sebe izgrađuje od jedne jedine generičke ćelije pod nazivom *zigot* do složenog organizma koji se sastoji od biliona visokodiferenciranih, visokospecijalizovanih i visokoefikasnih ćelija koje istovremeno i usklađeno funkcionišu. Pogledajmo kako od jedne ćelije nastaju mnoge.

### Spajanje: zigot

Prva ćelija organizma je *zigot*, nastao spajanjem polnih ćelija: *jajne ćelije* ženskog roditelja i *spermatozoida* muškog roditelja. (Više informacija o polnim ćelijama dato je u poglavlju 14, a o zigotu u poglavlju 15.) Zigot ima dve potpune kopije DNK one vrste kojoj pripada: jednu od svog muškog a drugu od ženskog roditelja. Te dve kopije kombinuju se u jedru zigota. Za zigot se kaže da je *diploid* – ima potpun dvostruki komplet DNK.

### Deljenje: mitoz

Tokom podele ćelije u procesu koji se naziva *mitoz*, jedna ćelija se deli na dve *ćelije-kćerke*, od kojih je svaka identična ali manja od prvobitne ćelije.

Proces mitoze javlja se samo kod diploidnih ćelija – ćelija koje sadrže dve kopije DNK. To su, zapravo, sve ćelije osim zrelih polnih ćelija, koje su *haploidne* – sadrže samo jednu kopiju DNK datog organizma.



### Diferencijacija

Pošto se mitoz okonča, svaka od ćelija-kćerki nastavlja svoj zaseban život. Jedna ili obe mogu krenuti ili nastaviti putem *diferencijacije*, tj. procesa koji različitim ćelijama daju posebne strukture i funkcije. Ćelija predodređena da postane nervna ćelija kreće jednim putem diferencijacije, a ćelija predodređena da bude mišićna ćelija – drugim.

Varijacija ovog mehanizma uključuje posebnu vrstu ćelije pod nazivom *matična ćelija*. Matična ćelija se deli mitozom, pri čemu jedna ćelija-kćerka ostaje matična ćelija i nastavlja da se iznova i iznova deli, dok se druga diferencira u određeni tip ćelije određenog tkiva. Samo neka tkiva imaju sopstvene matične ćelije – koža i krv, na primer.

Detalji procesa ćelijske diferencijacije prevazilaze opseg ove knjige. Njegova složenost je nezamisliva. Jedino objašnjenje tog procesa koje vam zaista treba jeste da je njegovo odvijanje genetski programirano.

### Stvaranje tkiva

Sva tkiva se sastoje od ćelija – ćelije ih i grade i održavaju. Ćelije nekog tkiva su u manjoj ili većoj meri *diferencirane*, tj. *specijalizovane* za svoju anatomske ili fiziološku funkciju unutar tkiva.

Tkiva su uglavnom izgrađena od gradivnih proteina i njima podržana. Hemijski procesi unutar tkiva odvijaju se uz učesče *enzima*, koji spadaju u drugi tip proteina (više o proteinima i enzimima dalje u ovom poglavlju). Diferencirane ćelije proizvode različite proteine: neke proizvode samo nekoliko različitih proteina, a neke proizvode mnoge proteine kao odgovor na



signale koje primaju od drugih ćelija. Proces stvaranja proteina u osnovi je isti u svim ćelijama i za sve proteine.

Što se anatomije i fiziologije tiče, zapamtite da sve ćelije imaju nekoliko veoma značajnih zajedničkih svojstava, ali se diferenciraju u ogroman niz tipova veoma različitih oblika i veličina, koji obuhvataju ćelije suštinski različite strukture, različitih funkcija i životnih ciklusa.

## **Preobražavanje energije**

Većina ćelija stvara ATP kao gorivo za sopstveni metabolizam. Vratite se na poglavlje 2 i pogledajte kako ćelije proizvode ATP.

Neke ćelije oslobađaju molekule glukoze neophodne za proces stvaranja ATP-a i dostavljaju ih na korišćenje drugim ćelijama (videti poglavlje 11). Ponekad je količina glukoze koju je oslobodio digestivni sistem veća od one koju telo u tom trenutku može da iskoristi. Stoga neke ćelije dejstvuju tako da prikupe višak molekula glukoze i uskladište ih za kasnije. Kada telu treba glukoza, neke ćelije oslobađaju molekule glukoze u krv, te oni tako postaju dostupni za učešće u Krebsovom ciklusu koji se odvija u drugim ćelijama (informacije o Krebsovom ciklusu potražite u poglavlju 2).

## **Stvaranje i transport proizvoda**

Velika većina tipova ćelija proizvodi specifične hemikalije koje se ugrađuju u tkiva i učestvuju u metaboličkim reakcijama. U ćelijske proizvode spadaju hiljade specifičnih proteina i polipeptida, signalne hemikalije poput neurotransmitera i hormona, mali molekuli i joni, najrazličitiji lipidi i ćelijski matriksi brojnih vrsta.

Neke specijalizovane ćelije u suštini ništa drugo i ne rade osim što proizvode jedan produkt i dostavljaju ga drugim ćelijama na korišćenje; druge pak proizvode svoje produkte ali obavljaju i druge funkcije.

Neke ćelije se specijalizuju za prenošenje proizvoda drugih ćelija širom tela, ili za transportovanje metaboličkih otpadnih materija izvan organizma. Pojedine od ovih transportnih ćelija obavljaju i druge funkcije. Ostale tokom čitavog svog životnog ciklusa obavljaju jedan jedini posao. Crvena krvna zrnca su ekstremno primer ćelije koja obavlja samo jednu funkciju. Ona tokom diferencijacije gube svoje jedro i potom ništa drugo ne rade već isključivo transportuju molekule gasa s jednog mesta na drugo. Ona se ne dele, ne proizvode ATP, i ne održavaju sama sebe. Kad se njihove strukture za transport gasova istroše, crvena krvna zrnca nemaju šta da rade. Ona se uklanjaju iz krvotoka i preko creva izbacuju iz organizma.

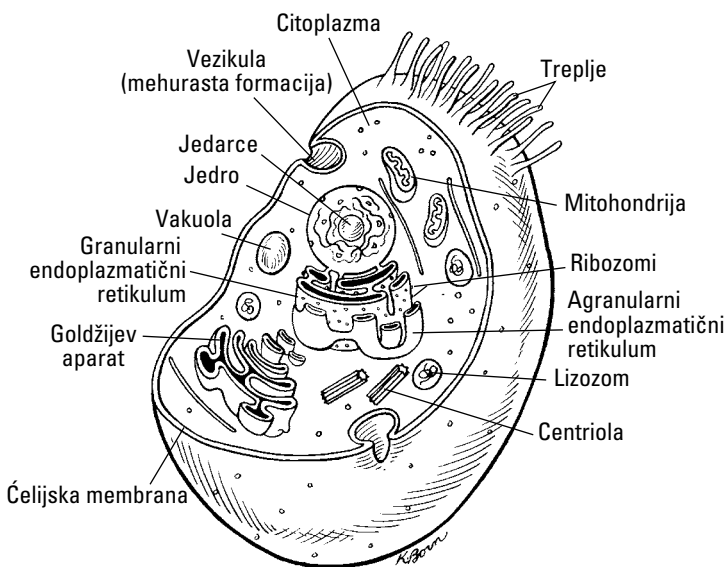
## **Komuniciranje**

Neke ćelije prenose različite vrste signala, boraveći sve vreme na jednom mestu u telu. Jedine funkcije nekih nervnih ćelija su generisanje i sprovođenje električnih signala i održavanje sebe samih, i one obično žive godinama, ili čak do smrti organizma. Druge ćelije proizvode signalne molekule, poput hormona i neurotransmitera, ili primaju te signalne molekule i reaguju na njih.

## Pogled u unutrašnjost eukariotskih ćelija

Iako su zaprepasavajuće različite, ćelije su suštinski međusobno veoma slične. (To je tema ćelijske biologije.) Ne radi se samo o tome da sve ćelije jednog organizma ili čak čitave vrste međusobno veoma nalikuju jedna drugoj. Sve ćelije, u najmanju ruku sve *eukariotske ćelije*, veoma su slične. Biljke, životinje i gljive su *eukarioti* (organizmi koji se sastoje od eukariotskih ćelija), a sve njihove ćelije, uprkos ogromnoj složenosti i varijacijama, suštinski su slične. Da, upravo tako, ćelije vaše kože, vaših bubrega i kostiju, suštinski su slične ćelijama lista biljke ili ćelijama korena šargarepe, ćelijama budi, pečurke ili kvasca, ili pak jedinoj ćeliji mikroorganizama pod nazivom *protisti* koji žive u vodi i tlu.

Evo pojednostavljenog opisa eukariotske ćelije: to je vreća koju čini membrana i koja sadrži manje ali jasno definisane strukture pod nazivom *organele* („mali organi“), koje lebde u želatinoznom matriksu pod nazivom *citoplazma*. Kao što samo njihovo ime nagoveštava, organele su funkcionalne podjedinice ćelije, kao što su organi funkcionalne podjedinice organizma. Jedna od najvećih i najistaknutijih organela, *jedro* (nukleus), kontroliše ćelijske funkcije na način sličan onom na koji nervni sistem kontroliše funkcionisanje organizma. Termin *eukariot* potiče od grčkog termina *karyos*, koji znači „orah“ ili „jezgro“, a koji su rani biolozi koristili za jedro. Slika 3-1 prikazuje opštu strukturu eukariotske ćelije. Vraćajte se na ovu ilustraciju dok čitate o različitim ćelijskim strukturama u sledećim odeljcima. Tabela 3-1 daje pregled struktura koje se nalaze u eukariotskoj ćeliji.



**Slika 3-1:**  
Poprečni presek osnovne životinjske ćelije i njenih organela.

**Tabela 3-1 Organele životinjskih ćelija (uključujući i ljudske)**

| <i>Organela</i>           | <i>Funkcija</i>                                                                                                                                   |
|---------------------------|---------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| Jedro                     | Upravlja ćelijom; sadrži genetski materijal.                                                                                                      |
| Mitohondrija              | Ćelijska „elektrana“.                                                                                                                             |
| Endoplazmatični retikulum | Igra važnu ulogu u sintezi proteina; učestvuje u transportu ćelijskih proizvoda; uključen u metabolizam masti.                                    |
| Ribozom                   | Povezuje amino-kiseline po uputstvima mRNK radi stvaranja proteina.                                                                               |
| Goldžijev aparat          | „Pakuje“ ćelijske proizvode u vreće koje se nazivaju vezikule tako da neki od njih mogu proći kroz ćelijsku membranu i napustiti ćeliju.          |
| Vakuole                   | Membranom zatvoreni prostori u citoplazmi koji ponekad služe u aktivnom transportu materijala do ćelijske membrane radi izbacivanja izvan ćelije. |
| Lizozomi                  | Sadrže digestivne enzime koji razlažu štetne ćelijske produkte i otpadne materije i aktivno ih transportuju izvan ćelije.                         |



Organizmi pod nazivom *bakterije* sastoje se od prokariotskih ćelija. Prokariotske ćelije se znatno razlikuju od eukariotskih i mnogo su jednostavnije po osnovnoj strukturi i organizaciji. Ova razlika između eukariotskih i prokariotskih ćelija čini veliko razmeđe u biologiji. Na ćelijskom nivou, razlike između životinja, biljaka, gljiva i protista gotovo su zanemarljive u poređenju s razlikama između ovih grupa, s jedne, i prokariota (bakterija), s druge strane.

## Omotač ćelije: membrana

Ćelija je obuhvaćena *ćelijskom membranom*, zvanom i *plazma membrana* ili *plazmalema*. Ćelijska membrana svih eukariota sastoji se od *fosfolipidnih* molekula. Te molekule proizvode ćelije u procesu za koji je neophodna određena količina energije. Fosfolipidni molekuli spontano (dakle bez priliva energije) formiraju membranu, pod dejstvom sila *polariteta*. Razmatranje polariteta i načina na koji membrana zadobija svoj osobeni oblik, koji se često naziva *dvostruki sloj fosfolipida*, naći ćete u poglavlju 16.



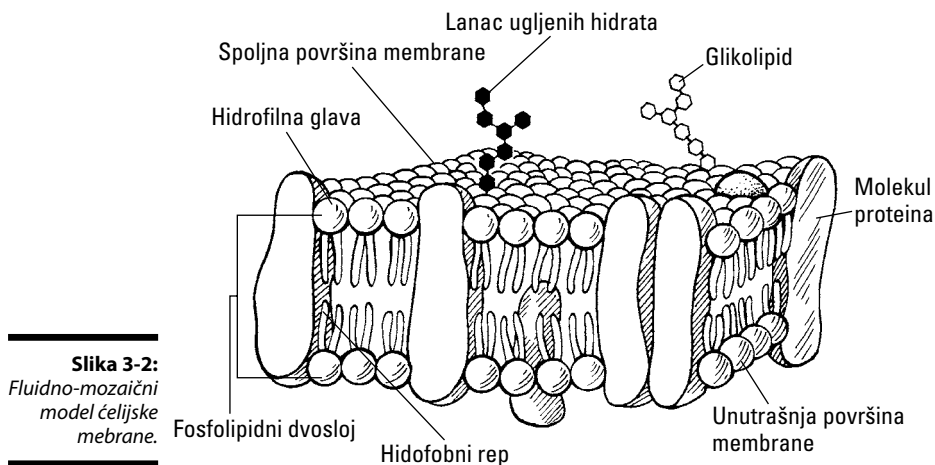
Nemojte mešati *ćelijske membrane* sa *ćelijskim zidovima*. Svaka ćelija ima membranu – membrana je osnovno svojstvo ćelije. Neke ćelije, međutim, imaju i ćelijske zidove, koji se nalaze izvan membrane i odvojeni su od nje. Nijedna životinjska ćelija nema zidove, ali ih imaju ćelije nekih biljaka i gljiva. Oni se od membrane razlikuju i po građi i po funkciji.

## Difuzija kroz membranu: fluidno-mozaički model

Fosfolipidni dvosloj prožet je brojnim strukturama različitih vrsta. Iako je dvosloj u osnovi sličan kod svih vrsta ćelija, u njega ugrađene strukture raznovrsne su i specijalizovane koliko i same ćelije. Neke identifikuju ćelije

drugim ćelijama (što je izuzetno važno za funkcionisanje imunskog sistema); neke upravljaju ulaskom određenih supstanci u ćeliju ili izlaskom iz nje, kroz membranu. Slika 3-2 je šematski prikaz fosfolipidnog sloja i u nje ga ugrađenih struktura. Taj model ćelijske membrane zove se *fluidno-mozaični model*. Reč „fluidno“ opisuje sposobnost molekula u dvosloju da se kreću, dok se reč „mozaični“ odnosi na ugrađene strukture.

Hemijska svojstva fosfolipidnog dvosloja i u njega ugrađenih struktura doprinose jednoj izuzetno važnoj karakteristici membrane: njenoj sposobnosti da kontroliše koje će supstance kroz nju proći, a koje pak ne. To znači da je membrana *polupropusna (semipermeabilna)*.



**Slika 3-2:**  
Fluidno-mozaični  
model ćelijske  
membrane.

### Pasivni prolazak kroz membranu

Neke supstance, uglavnom mali molekuli i joni, kroz membranu prolaze mehanizmom *pasivnog transporta*, što znači da manje-više neometano protiču kroz dvosloj, vođeni silama „obične“ hemije, kao što su gradijenti koncentracije, nasumično kretanje molekula i polaritet. Evo nekoliko načina pasivnog prolaska različitih supstanci kroz membranu:

- ✓ **Difuzija:** Supstanca se spontano kreće zavisno od *gradijenta koncentracije* (od oblasti u kojoj je visokokoncentrovana ka oblasti gde je njena koncentracija manja). Ako sipate kafenu kašičicu soli u bokal vode, rastvoreni joni natrijuma i hlora će se, posle nekog vremena, *difuzno rasporediti* (ravnomerno proširiti u vodi). Potrebno vreme meriće se sekundama, ako rastvor protresete, ili danima, ako ga ostavite netaknutim na sobnoj temperaturi. (Da biste otkrili zašto, pogledajte poglavlje 16.) Ćelijske i vanćelijske tečnosti neprestano trpe potrese i nalaze se na temperaturi od 35 do 38 stepeni Celzijusa. Joni i molekuli za koje je ćelijska membrana propusna mogu difundovati u ćeliju ili iz nje, stalno težeći da dosegnu ravnotežno stanje.

- ✓ **Osmoza:** Difuzija molekula vode kroz selektivno propusne membrane ima i posebno ime: *osmoza*. Kao i pri difuziji, mehanizmom upravljaja gradijent koncentracije. Pritisak pri kome kretanje vode kroz membranu prestaje (to jest, kada je koncentracija rastvora s obe strane membrane ista), naziva se *osmotski pritisak* sistema.
  - ✓ **Filtracija:** Ovaj oblik pasivnog transporta javlja se tokom kapilarne razmene. (*Kapilari* su najmanji krvni sudovi – oni premošćuju arteriole i venule; više informacija o krvotoku naći ćete u poglavlju 9.) Debljina zidova kapilara je samo jedan sloj ćelija, a ćelijska membrana kapilara deluje kao filter, kontrolišući ulazak i izlazak malih molekula. Mali molekuli rastvoreni u tkivnoj tečnosti, kao što su molekuli ugljen-dioksida i vode, difunduju kroz kapilarnu ćeliju i ulaze u krv, dok supstance rastvorene u krvi, kao što su glukoza i kiseonik, difunduju u tkivnu tečnost kroz ćelijske membrane kapilara. Pulsirajuća sila protoka krvi obezbeđuje postojanu pokretačku energiju.
- Krvni pritisak u kapilarima najviši je na arterijskom a najniži na venoskom kraju. Na arterijskom kraju, krvni pritisak potiskuje supstance kroz kapilarne membrane u tkivnu tečnost.



Na venskom kraju pak, niži krvni pritisak (te stoga viši neto osmotski pritisak) potiskuje otpadne produkte van ćelije a povlači vodu iz vanćelijske tečnosti u kapilare.

Da li pasivni transport protivreči shvatanju da ćelija kontroliše šta kroz membranu u nju ulazi odnosno izlazi? Ne. Supstance koje se kreću pomoću pasivnih mehanizama jesu „obični“ mali molekuli i joni kojih uvek ima u izobilju ćelijama i između njih, a nalaze se unutar fiziološki zdravog opsega vrednosti zahvaljujući dejstvu sila homeostaze – prve linije odbrane protiv fizioloških poremećaja. Ako u bilo kom trenutku fiziološki nivo dosegne suviše visoke ili suviše niske vrednosti, ćelijama stoje na raspolaganju proteinske pumpe za suzbijanje pasivnog transporta. Moglo bi se reći da ćelija nije traćila energiju razvijajući mehanizme za kontrolisanje stvari za koje je malo verovatno da se mogu oteti kontroli, i za koje su na raspolaganju druga sredstva kada se to ipak desi.

### **Aktivan prolazak kroz membranu**

*Aktivni transport* omogućava da ćelija kontroliše koji od velikih, aktivnih bioloških molekula ulaze u citoplazmu, a koji iz nje izlaze. Aktivni transport je temeljno svojstvo živih ćelija (dok sistem za difuziju možete uspostaviti, kao što smo ranije naveli, i u bokalima vode).

Poput mnogih drugih stvari u oblasti ćelijske biologije, mehanizmi aktivnog transporta su brojni i veoma raznovrsni. Jednostavan mehanizam aktivnog unosa podrazumeva molekul izvan ćelije, neophodan za njeno funkcionisanje, i u membranu ugrađenu strukturu koja taj molekul može nepogrešivo prepoznati, često upotrebom mehanizma ključa i brave, i koja prisustvo tog molekula može dojaviti drugoj strukturi ugrađenoj u membranu. Ta druga struktura potom otvara kanal kroz koji samo taj molekul

može proći, a zatim se kanal zatvara sve dok ta druga struktura ne dobije pouzdanu poruku da ga opet otvori. Nešto složenija varijanta podrazumeva transportni molekul koji prenosi drugi molekul od ćelije u kojoj je proizveden do ćelije gde će biti upotrebljen.



Materije proizvedene u ćeliji, bilo da se radi o *anabolitima* (koje ćelija stvara u korisne svrhe) ili o *katabolitima* (otpadne materije i nusproizvodi anaboličkih reakcija), mogu se pomoću mehanizma aktivnog transporta, uključujući i transportne molekule, potisnuti kroz membranu izvan ćelije.

## Kontrolni centar ćelije: jedro

Kao što smo prethodno spomenuli, svojstvo koje definiše eukariotsku ćeliju jeste postojanje jedra (lat. jd. *nucleus*, mn. *nuclei*) koje upravlja aktivnošću ćelije. Jedro je najveća organela i jasno se vidi pod mikroskopom. Pogledajte sliku 3-1, ranije u poglavlju, da biste videli odnos jedra i ćelije; slika 3-7, data kasnije u ovom poglavlju, pruža detaljniji uvid u strukturu jedra.



Sve ćelije imaju jedno jedro, barem na početku svog životnog ciklusa. Kako se ćelija razvija, ona može izgubiti svoje jedro, kao što je to slučaj s crvenim krvnim zrcima i keratinocitima kožnog omotača (integumenta); ili se ćelija može spojiti s drugim ćelijama, pri čemu ćelija nastala takvim spajanjem zadržava jedra svih ćelija, kao što je to slučaj s vlaknima skeletnih mišića. Taj tip ćelije zove se *sincicijum*.



Baš kao što ćelije nastaju od drugih ćelija, svako jedro nastaje deobom jedra. Jedro sadrži jednu potpunu (diploidnu) kopiju *genoma* organizma – DNK koja utelovljuje jedinstven genetički materijal tog organizma. Svako jedro, svake ćelije, svih organizama, sadrži sopstvenu potpunu i tačnu kopiju čitavog genoma. Ono je obuhvaćeno polupropusnom membranom koja se zove *omotač jedra*.

Ćelije proizvedene od identične DNK nezamislivo se razlikuju po građi, funkciji i supstancama koje proizvode (proteini, hormoni i tako dalje). Diferencijacijom ćelije (tj. strukturom koju ona poprima) i svim stvarima vezanim za njene proizvode upravlja jedro, koje kontroliše *ekspresiju gena*, to jest, selektivno aktiviranje pojedinačnih gena.



Imajte na umu odnos između genoma i *ekspresije gena*. Genom (DNK) identičan je u svakoj ćeliji i ostaje nepromenjen tokom čitavog života datog organizma. Unutar bilo koje ćelije, samo veoma mali broj gena ikada bude eksprimiran. Svaka ćelija sadrži gene („uputstva“) za stvaranje kose, ali samo mali broj njih ikada eksprimira te gene, tj. stvara kosu. Ekspresija pojedinih gena unutar svake od bilion aktivnih ćelija u organizmu, neprestano se menja, od jednog trenutka do drugog, tokom čitavog trajanja života organizma. Ekspresija gena je temeljan proces metabolizma.



## Citoplazma

Unutar ćelijske membrane, između i oko organela, postoji tečni matriks pod nazivom *citoplazma* ili *citozol*, te unutrašnje skele sačinjene od *mikrofilamenata* i *mikrotubula* koje ćeliji služe kao potpora, pružaju neophodan prostor za odvijanje procesa i štite organele. Organele lebde u citoplazmi.

Citoplazma je želatinozne teksture zbog proteina rastvorenih u njoj. To su enzimi koji razlažu glukozu u *molekule piruvata* (pirogroždane kiseline) u prvim koracima ćelijskog disanja (videti poglavlje 2). Ostale rastvorene supstance su masne kiseline i amino-kiseline. Otpadne materije disanja i procesa stvaranja proteina prvo se istiskuju u citoplazmu a potom bivaju obuhvaćene vakuolama i izbačene iz ćelije.

Organele – uključujući jedro, mitohondrije, endoplazmatični retikulum i Goldžijev aparat – sadrže tečnost osobenog sastava, sličnu citoplazmi i jedna drugoj, ali je svaka prilagođena specifičnim potrebama svake organele.



## Unutrašnje membrane

Plazma membrana nije i jedina membrana ćelije. Fosfolipidne dvoslojne membrane (one koje ne sadrže „mozaik“ ugrađenih struktura), postoje širom ćelije, omotavajući svaku organelu i plutajući unaokolo, čekajući da budu od koristi. Mreža membrana ponekad se naziva *sistem unutrašnjih membrana* (endomembrana). Kada neka organela proizvede supstancu koja se mora izbaciti iz ćelije, na scenu stupa fragment dvoslojne membrane i kapsulira (omotava) tu supstancu a potom se pomera prema membrani ćelije. Kada tamo stigne, spaja se s membranom (koja je, zapamtite, fluidna), otvara se i oslobađa prethodno kapsuliranu supstancu u vanćelijsku tečnost. Tim transportnim sistemom služe se Goldžijev aparat, lizozomi i vakuole.

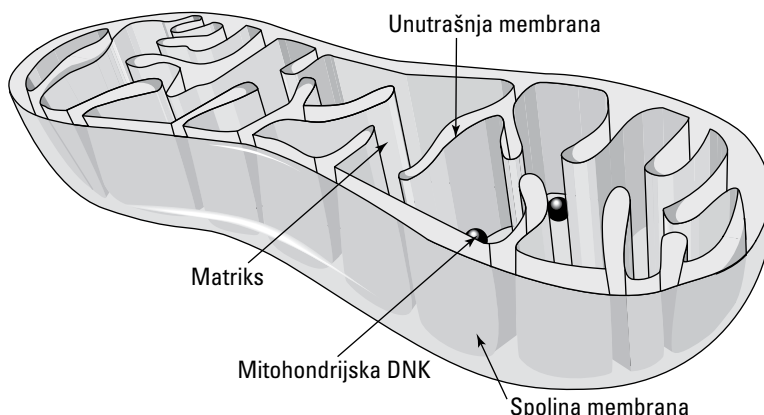
Slično tome, dvoslojni fragment ćelijske mebrane može kapsulirati molekul iz vanćelijske tečnosti, prodrati u citoplazmu, odvojiti se u obliku zasebne *vezikule* (membranom omotana subćelijska struktura), a potom osloboditi taj molekul u citoplazmu ili unutar membrane neke organele.

## Energetsko postrojenje ćelije: mitohondrije

*Mitohondrija* je organela koja energiju transformiše u oblik koji se može upotrebiti kao gorivo za metabolizam i funkcije ćelije. Često se naziva ćelijskom „elektranom“. Ulogu mitohondrije u ćelijskom disanju razmotrili smo u poglavlju 2.

Broj mitohondrija u ćeliji zavisi od njene funkcije. Ćelije za čije je funkcionisanje potrebna mala količina energije, kao što su nervne ćelije, poseduju relativno mali broj mitohondrija; mišićne ćelije, međutim, mogu sadržati nekoliko hiljada mitohondrija zbog svoje funkcije da energiju koriste kako bi obavljale „posao“. Mitohondrija se može, poput ćelije, podeliti, da bi se proizvelo više mitohondrija, ona može da raste, da se kreće i da se kombinuje s drugim mitohondrijama, a sve to radi zadovoljavanja potreba ćelije za energijom.

Mitohondrije su veoma male organele, obično u obliku štapića (slika 3-3). Imaju spoljnu membranu koja ih prekriva i omotava. Tečnost unutar mitohondrije, pod nazivom *mitohondrijski matriks*, sastoji se od vode i enzima koji katalizuju oksidaciju glukoze u ATP. Veoma naborana unutrašnja membrana uleže u matriks, povećavajući tako površinu za odvijanje hemijskih reakcija.



**Slika 3-3:** Moćna mitohondrija.

Jedinstvena među organelama, mitohondrija sadrži malu količinu DNK unutar zasebnog hromozoma. Ta DNK ponaša se posebno i nezavisno od hromozoma u jedru. Ona se udvostručava i deli kako bi se stvorile nove mitohondrije u ćeliji, što se dešava nezavisno od mitoze. Više informacija o fenomenu mitohondrijske DNK naći ćete u poglavlju 17.

Dve membrane mitohondrije nisu isto što i dvoslojna membrana jedra.



## Fabrika proteina

Proces stvaranja proteina zaista je elegantan, što ćete uvideti čitajući odeljak „Sinteza proteina“ kasnije u ovom poglavlju. Ovde razmatramo strukture sistema za proizvodnju proteina: organele i druge unutarćelijske strukture i njihove međusobne odnose.

Proces proizvodnje proteina počinje u jedru. Odgovarajući na različite vrste signala, aktiviraju se neki geni i započinju proizvodnju određenog proteinskog molekula (ekspresija gena). Jedro zamislite kao upravno odeljenje fabrike.

*Endoplazmatski retikulum* (ER; bukvalno, „unutarćelijska mreža“) jeste lanac membranom obuhvaćenih kanala i šupljina koji se pruža u obliku zakrivljene putanje, povezujući membranu ćelije s omotačem jedra. ER prikuplja sve sastojke neophodne za sintezu proteina. *Ribozomi* – druge organele uključene u sintezu proteina – prijanaju uz spoljnu površinu nekih delova membrane, štrčeći u citoplazmu. Ti delovi se zovu *granularni* (*hrapavi/zrnasti*) ER za razliku od *agranularnog* (*glatkog*) ER uz koji ribozomi ne prijanaju. ER zamislite kao logistiku fabrike.

Ribozom je mesto sinteze proteina, gde se odvijaju reakcije spajanja u kojima nastaje lanac amino-kiselina. Ribozomi mogu da plutaju u citoplazmi ili da se zakače za ER. Sićušni su, čak i po standardima veličine organela, ali su puni energije; tipična ćelija sadrži hiljade ribozoma. Ribosome zamislite kao proizvodne mašine.

*Goldžijev aparat* je deo sistema unutrašnje membrane ćelije. Učestvuje u skladištenju, modifikaciji i lučenju proteina i lipida. Zamislite ga kao odeljenje za utovar i otpremanje.

## **Lizozomi**

Stari i istrošeni delovi moraju se ukloniti iz ćelije, inače mogu postati izvor toksina ili faktor iscrpljivanja energetske resursa. *Lizozomi* su organele koje obavljaju prljavi posao *autodigestije*. Enzimi lizozoma digestivnim procesom uništavaju druge delove ćelije – recimo, staru mitohondriju. Molekuli koji se od mitohondrije mogu povratiti, recikliraju se u toj ili nekoj drugoj ćeliji. Otpadne materije se izbacuju iz ćelije u membranom omotanoj vakuoli.

## **Elementi koji grade vaše telo**

Iako životni procesi mogu izgledati kao nešto čudesno, biologija uvek sledi zakone hemije i fizike. Biohemijski procesi su mnogo raznovrsniji i složeniji od ostalih hemijskih procesa, a odvijaju se isključivo između molekula koji postoje u živim ćelijama. U ćelijama se proizvode molekuli mnogo hiljada puta veći od vode ili ugljen-dioksida, a u međusobne reakcije stupaju na naizgled čudesan način. Ovaj odeljak govori upravo o tim velikim molekulima, zvanim *makromolekuli*, i njihovim kompleksnim interakcijama. Zadivljujuća hemija ovih polimernih molekula zapravo je hemija samog života.

## **Spajanje: struktura makromolekula**

Među biološkim supstancama, izuzetno veliki molekuli su *nukleinske kiseline* (DNK i RNK), *polisaharidi* i *proteini*. Svi oni se sastoje uglavnom od ugljenika, uz kiseonik, vodonik, azot i fosfor u različitim odnosima. Mnogi sadrže i druge elemente, kao što su magnezijum, sumpor ili bakar.

*Makromolekuli*, kao što i samo njihovo ime nagoveštava, ogromni su. Poput mnogih drugih velikih stvari, sastoje se od manjih stvari, kao što se razred sastoji od pojedinačnih učenika. Učenik je pripadnik razreda, po mnogo čemu bitnom gotovo identičan drugim učenicima, ali istovremeno jedinstven po drugim bitnim osobinama. Makromolekuli se sastoje od molekularnih podjedinica pod generičkim nazivom monomeri („iz jednog komada“). Svaka vrsta makromolekula ima sebi svojstven tip monomera. Makromolekuli su stoga *polimeri* („iz više komada“).



U svakodnevnom govoru, termin *polimer* asocira na plastične mase. Naravno, plastične mase jesu polimeri, ali nisu svi polimeri plastične mase. Termin se odnosi na molekule koji se sastoje od ponavljajućih podjedinica – svojih monomera. Ponašanje polimera u hemijskim reakcijama različito je od ponašanja njihovih monomera.

Hemija makromolekula nalikuje na bezgranično veliki komplet „Lego“ kockica. Svaka kockica (monomer) može se spojiti s drugom kockicom ako su spojni profili odgovarajući. S dovoljnim brojem kockica i nešto specijalnih spojnih profila, i dovoljno energije i strpljenja, možete izgraditi veoma složene strukture, sa sve zvonima, zviždalkama i točkovima koji se okreću. Možete onda to učiniti još 1000 puta a potom sve te složene strukture spojiti u jednu veoma veliku, veoma kompleksnu i visokofunkcionalnu strukturu. (Šta kažete? Nemate dovoljno materijala ili energije da to uradite, a uostalom i ne znate kako da izgradite strukturu dostojnu muzeja Lego kockica? Pa dobro. Vaše ćelije grade mnogo kompleksnije stvari svakoga dana. Na vama je samo da ih redovno snabdevate gorivom.)

## Nukleinske kiseline i nukleotidi

Nukleinske kiseline *DNK* (dezoksiribonukleinska kiselina) i *RNK* (ribonukleinska kiselina) jesu polimeri sačinjeni od monomera koji se nazivaju nukleotidi, nanizanih u vidu lanca, jedan iza drugog. Lanac za lancem, molekuli DNK su hiljadama nukleotida dugački (slika 3-4). Funkcionisanje gena je neodvojivo od hemijske strukture monomera nukleinske kiseline.

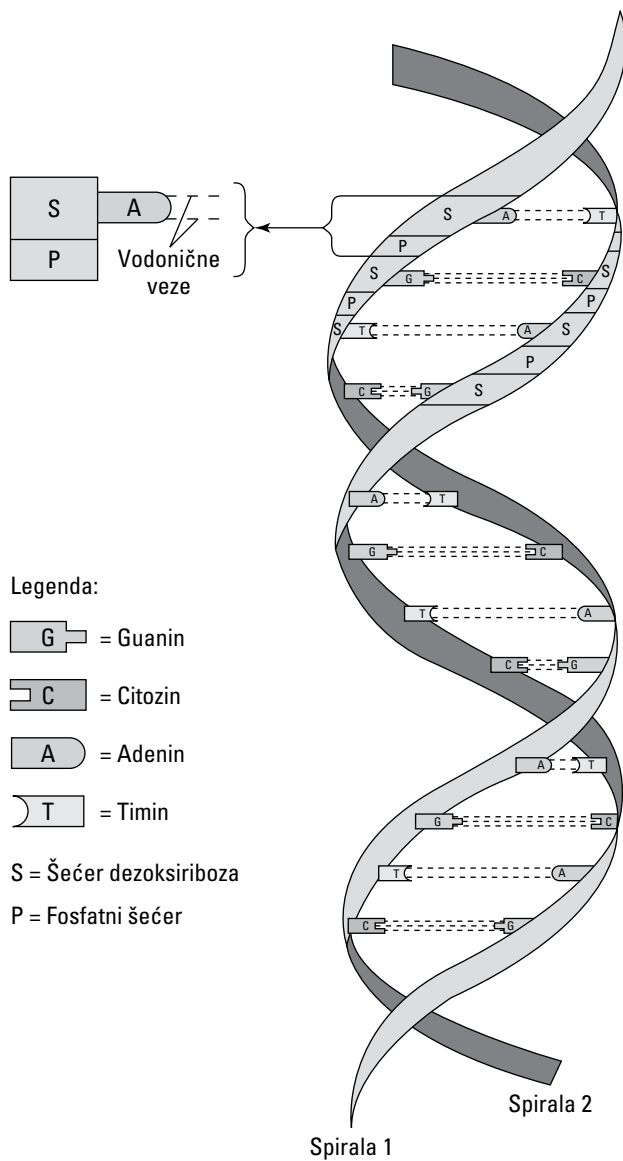
Nukleotid se sastoji od molekula šećera i fosfatne grupe pričvršćene za azotnu bazu. Molekul šećera je ili dezoksiriboza (u DNK) ili riboza (u RNK). Azotna baza može biti jedna od sledeće četiri:

- ✓ Citozin (C), guanin (G), timin (T) ili adenzin (A) u DNK
- ✓ Citozin (C), guanin (G), timin (T) ili uracil (U) u RNK

Baze se međusobno spajaju preko tačno određenih parova. (U odeljku „Struktura gena“, kasnije u poglavlju, razmatra se biološki značaj ovakvog komplementarnog uparivanja.) Komplementarni parovi su:

- ✓ C i G
- ✓ T i A u DNK
- ✓ T i U u RNK

Strukturne sličnosti i razlike između DNK i RNK omogućavaju im da u sadejstvu stvaraju proteine unutar ćelija. Molekul DNK ostaje stabilan u jedru tokom normalnog funkcionisanja ćelije, zaštićen od oštećivanja omotačem jedra. Molekul RNK se proizvodi na zahtev da bi preneo kodirane instrukcije gena za stvaranje proteina, a potom se dezintegriše. Neke od njegovih podjedinica (nukleotida) ostaju neoštećene i recikliraju se u nove molekule RNK.



**Slika 3-4:** DNK se sastoji od hiljada nukleotida.

## Polisaharidi

Jednostavan ugljovodonični molekul glukoza glavni je energetski molekul u fiziologiji. *Polisaharidi* (polimeri ugljovodoničnih monomera) u fiziologiji životinja, uključujući i fiziologiju čoveka, upotrebljavaju se za skladištenje goriva (glikogena).

Polisaharidi igraju više uloga u fiziologiji biljaka, gljiva i bakterija, stvarajući većinu (vezivnih) gradivnih tkiva – ulogu koju kod životinja uglavnom obavljaju proteini. Polisaharidi su, međutim, jednako tako važni (neophodni za život) i kada se radi o životinjama.

## Proteini

Proteini, poznati i kao *polipeptidi*, polimeri su *amino-kiselina*. Monomeri (amino-kiseline) raspoređeni su u vidu linearnog lanca i mogu se smotati i presaviti i u globularni oblik. Gradivni proteini čine oko 75 procenata mase tela. Kožni omotač, mišići, zglobovi i drugi tipovi vezivnih tkiva, u najvećoj meri se sastoje od gradivnih proteina poput kolagena, keratina, aktina i miozina. Pored toga, enzimi koji katalizuju sve složene hemijske reakcije života u svim vrstama organizama (biljke, gljive, bakterije, životinje), takođe su proteini.

## Amino-kiseline

U prirodi postoji dvadeset amino-kiselina. Amino-kiseline su, mereno standardima hemije neživih materija, izuzetno veliki i kompleksni molekuli. Tipičan protein sadrži na stotine monomera amino-kiselina koji moraju biti spojeni strogo utvrđenim redom da bi protein pravilno funkcionisao.

Vezivni afiniteti koji postoje između svih amino-kiselina rezultuju strukturnom preciznošću koja proteine čini funkcionalnim za zahtevne biološke procese.

## Enzimi



Enzimi su molekuli proteina koji *katalizuju* hemijske reakcije života. (Poglavlje 16 sadrži kratak opis katalize u hemiji.) Enzimi mogu samo da ubrzaju reakciju koja je i inače hemijski izvodljiva. Koliko su enzimi efikasni u pogledu ubrzavanja hemijskih reakcija? Pa, recimo da postoje hemijske reakcije čije spontano odvijanje zahteva čitav vek ili čak i više od toga, a uz pravi enzim dovoljan je i delić sekunde da bi se okončale. Enzimi su uključeni u svaki fiziološki proces, a svaki enzim je krajnje specifičan za jednu ili veoma mali broj hemijskih reakcija. Vaše telo sadrži desetine hiljada različitih enzima.

Kad god se otkrije nov enzim, on dobije naziv, obično s nekom fiziološkom skraćenicom vezanom za njegovu funkciju, često sa sufiksom *-aza*. Enzim pod nazivom *piruvat dehidrogenaza* uklanja atome vodonika iz molekula piruvata tokom procesa ćelijskog disanja (videti poglavlje 2).

Recept za proizvodnju enzima – to jest, skup određenih amino-kiselina i njihov tačan poredak u lancu – može poslužiti i kao dobra radna definicija gena.





Neispravno funkcionisanje jednog jedinog enzima, koje opet može biti prouzrokovano time što jedan jedini nukleotid nije na svom mestu u poretku, može biti odgovorno za neke veoma gadne, a ponekad i smrtonosne bolesti. *Fenilketonurija* (PKU) nasledno je metaboličko oboljenje uzrokovano neispravnom *fenilalanin hidroksilazom*. Nesposobnost da se pravilno metaboliše amino-kiselina fenilalanin, koja se nalazi u mnogim namirnicama, uzrokuje mentalnu retardiranost, oštećenja organa, neprirodno držanje, pa čak i smrt, ako pogođena osoba ne ograniči konzumiranje namirnica koje sadrže fenilalanin, što je veoma teško postići.

## Geni i genetski materijal

Vaše anatomske strukture determinisane su do detalja, a svi vaši fiziološki procesi nalaze se pod potpunom kontrolom samo vama svojstvenog kompleta *gena*. Ako niste jednojajčani blizanac, ovaj specifičan komplet gena, vaš *genom*, pripada samo vama, a stvoren je u trenutku spajanja jajne ćelije vaše majke sa spermatozoidom vašeg oca. Sam genom (svi vaš geni) sadržan je u DNK koja se nalazi u jedru svake ćelije vašeg tela.



Genom se sastoji od mnogo hiljada gena. Rana istraživanja broja pojedinačnih gena ljudskog genoma rezultirala su različitim procenama – od oko 23.000 do oko 75.000 – pri čemu su dominirale procene bliže donjoj granici tog opsega. Unutar svake date ćelije, samo veoma mali broj tih gena ikada bude *ekspimiran* – što znači aktiviran i upotrebljen u procesu stvaranja proteina.

## Pravilno uobličavanje vaših svojstava

Vaši geni su odgovorni za vašu *svojstva*. Ako vaši geni određuju da ćete izrasti do 190 cm visine (svojstvo), oni će uzrokovati rast kostiju i tkiva sve dok vaše telo ne dosegne tu visinu, i održavati je nakon toga (pod pretpostavkom da postoji povoljno okruženje), sve dok ćelije preko kojih geni deluju ne ostare i ne odumru. Ukoliko imate gene za smeđe oči (svojstvo), vaši geni upravljaju proizvodnjom pigmenta koji vašim očima daje boju. A u slučaju da u vaše gene spadaju i oni za preobilnu proizvodnju holesterola male gustine, imaćete sklonost ka arterosklerozi, što je takođe svojstvo. U sredini u kojoj su u ishrani zastupljene velike količine crvenog mesa, ovo svojstvo vam može napraviti velike probleme. U drugim okolnostima, to svojstvo je bezopasno.



Nazvati neko svojstvo „bezopasnim“, u tehničkom smislu može biti ne-tačno. Verovatno je pravilnije pretpostaviti da je svrha svakog svojstva povećavanje šansi za opstanak, makar u specifičnim uslovima određenog okruženja, čak i onda kada ne znamo koja je to svrha.

## Struktura gena

Fizička struktura molekula DNK, pod nazivom *dvostruka spirala DNK*, od ključnog je značaja za funkcionisanje gena (slika 3-4). Dvostruka spirala DNK može se uporediti s lestvicama ili rajsferšlusom. Po načinu na koji funkcioniše više liči na sistem kodova (šifara).

### Kodiranje „vas“

Nukleotidi su simboli unutar genetskog koda. U savremenom jeziku, napisana reč je kôd sačinjen od podjedinica (slova) poređanih određenim redom. Na primer, *ovo*, *ovde*, *onde* i *oval* različite su reči, s različitim značenjem i ulogama u izražavanju misli. Gen je sačinjen od određenih nukleotida, raspoređenih u tačno definisanom poretku. Gen može biti tek nekoliko ili pak mnogo nukleotida dugačak (zamislite jednu jedinu reč koja se proteže na 20 strana), ali određeni gen sadrži uvek iste nukleotide, raspoređene u istom poretku duž jedne spirale DNK. Poredak nukleotida je apsolutno ključan: „ACTTAGGCT“ nikako nije isto što i „ACTAAGGCT“. Prema preovlađujućoj teoriji, svaki gen upravlja proizvodnjom jednog enzima, tipa proteinskog molekula. To se zove model „*jedan gen, jedan protein*“. Ako nukleotidi nisu pravilno poređani, enzimski molekul koji će se proizvesti verovatno će biti beskoristan, a funkcionisanje organizma biće u manjoj ili većoj meri poremećeno zbog toga.



Svaki model upotrebljen za objašnjavanje biologije ćelije, uključujući i model „*jedan gen, jedan protein*“, podložan je promenama u skladu s novim saznanjima. Te promene će, međutim, verovatno tek u maloj meri uticati na razumevanje osnova anatomije i fiziologije.

### Uparivanje na molekularnom nivou

Sećate li se komplementarnih parova nukleotida? (Ako ne, pogledajte odeljak „Nukleinske kiseline i nukleotidi“, ranije u ovom poglavlju.) Dakle, ako se neki nukleotid nalazi na svom mestu unutar jedne spirale DNK, i ako se svaki tip nukleotida vezuje isključivo za svog komplementarnog partnera (A sa T, C sa G i tako dalje), šta mislite da se nalazi unutar druge spirale DNK? Upravo tako! Drugi nukleotid komplementarnog para. Gde god da se unutar jedne spirale nalazi G, tamo se unutar druge nalazi C, a par je spojen u sredini. A ako se dve spirale razdvoje (što se i događa), šta mislite da će se dogoditi? Nukleotidi unutar jedne spirale privući će svoje komplementarne partnere i spojiti se s njima, stvarajući tako novu dvostruku spiralu, identičnu prvobitnoj.

### Sinteza proteina

Aktivan gen šalje poruke svojoj sopstvenoj ćeliji ili drugim ćelijama, naručujući proizvodnju molekula njemu svojstvenog enzima, jedinog koji on može da stvori. Poruka se šalje iz DNK posredstvom mRNK (informaciona ili mesendžer RNK), koja narudžbinu dostavlja ćelijskoj fabrici za proizvod-



nju proteina i tamo se izvesno vreme zadržava da bi nadgledala proizvodnju. Prva faza procesa, gde DNK „piše porudžbinu“ u vidu niza nukleotida unutar mRNK, odvija se u jedru i naziva se *transkripcija* („pisanje preko već napisanog“). Sledeća faza procesa, gde RNK porudžbinu dostavlja fabrici, zove se *translacija* („prenošenje“). Poslednja faza procesa, u kojoj se monomeri amino-kiselina odabiraju i sklapaju u polipeptide, počinje u ribozomu. Slika 3-5 prikazuje taj proces. Završni potezi stvaranja enzimskog molekula odvijaju se u endoplazmatičnom retikulumu i Goldžijevom telu. Čitav proces, od transkripcije pa do završnih poteza na proteinskom molekulu, naziva se ekspresija gena.



Imajte na umu odnos između *genoma* i *ekspresije gena*. Čitav vaš genom sadržan je u identičnim molekulima DNK unutar jedra svake ćelije vašeg tela; on ostaje neizmenjen tokom čitavog vašeg života. Svaki gen može biti eksprimiran u samo nekoliko ćelija, ili isključivo pod određenim fiziološkim uslovima, ili – moguće – nikada. Sveukupnost ekspresije gena menja se svake sekunde, tokom čitavog života, onom brzinom kojom nervi prenose impulse a ćelije na njih reaguju.



Termini *ekspresija gena*, *sinteza proteina*, *transkripcija* i *translacija*, u suštini znače isto, ali se u fiziologiji i ćelijskoj biologiji koriste u različitim kontekstima.

## Ćelijski ciklus

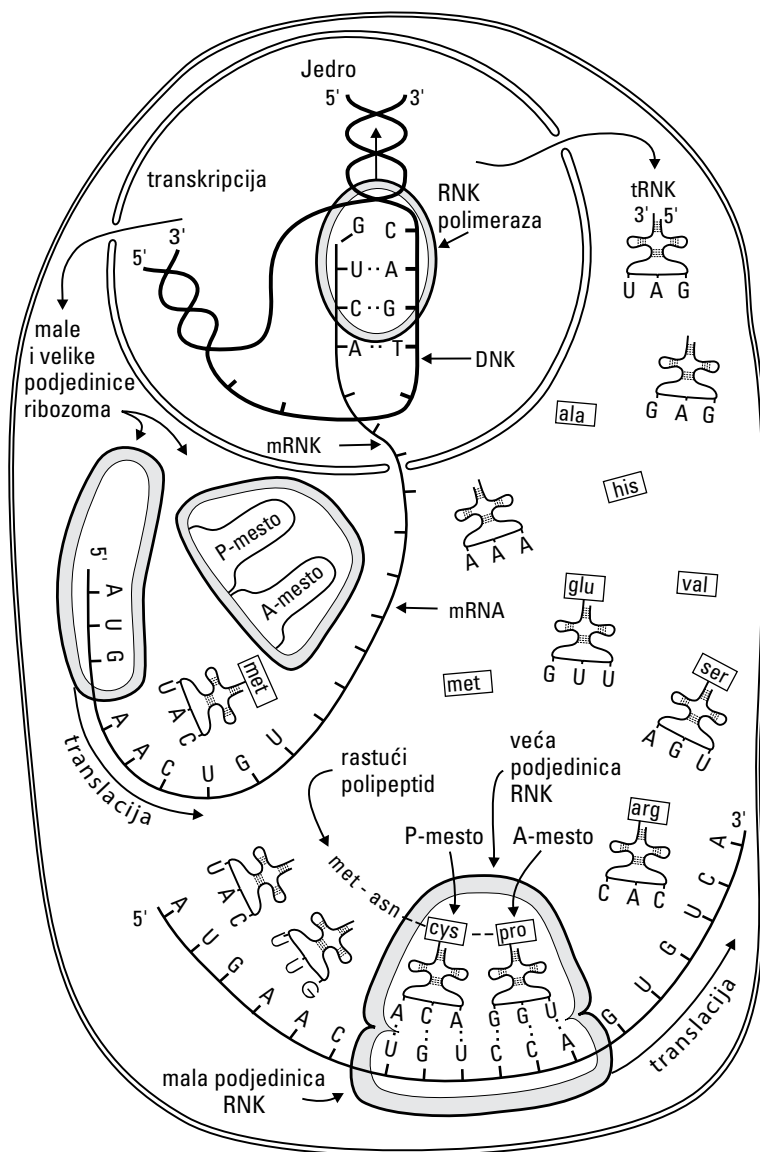
Životni ciklus pojedinačne ćelije zove se *ćelijski ciklus*. Trenutak ćelijske deobe, kada membrana raste preko „ekvatora“ ćelije koja se deli, smatra se krajem životnog ciklusa ćelije-majke i početkom životnog ciklusa obe njene ćelije-kćerke.

Tipično, ali nikako opštevažeće, *medufaza* je najduži period ćelijskog ciklusa. Medufaza se završava kada ćelija počne da se deli u procesu *mejoze*. U narednim odeljcima razmotrićemo oba ta perioda ćelijskog ciklusa.

## Ćelije koje se dele i ćelije koje se ne dele

Sve ćelije nastaju podelom druge ćelije, ali sve ćelije ne nastavljaju da se ponovo dele:

- ✓ **Zigot:** Diploidna ćelija koja nastaje kada se polne ćelije (jajna ćelija i spermatozoid, obe haploidne) spoje u trenutku začeća. Gotovo odmah potom, zigot se deli na dve somatske ćelije.
- ✓ **Somatske ćelije:** U njih spadaju sve ćelije tela osim polnih ćelija – drugim rečima, sve diploidne ćelije tela. Somatske ćelije mogu biti *relativno diferencirane* (u nekoj meri specijalizovane), *potpuno diferencirane* (one se nikada ponovo ne dele) ili matične ćelije.



**Slika 3-5:** Proces sinteze proteina.

- ✓ **Matične ćelije:** Posebna vrsta, mogli bismo reći „generičkih“ somatskih ćelija, koje se dele kako bi proizvele jednu novu matičnu ćeliju i jednu novu somatsku ćeliju, koja će se izdiferencirati u zaseban tip ćelije, unutar zasebne vrste tkiva. *Embrion* (organizam u najranijim fazama razvoja) ima specijalne matične ćelije, koje se zovu *pluripotentne* („one koje imaju mnoge moći“), koje odlikuje sposobnost da se pretvore u bukvalno svaku vrstu ćelije koja je organizmu potrebna, ukoliko u okruženju postoje povoljni hemijski uslovi. Kada organizam

u svom razvoju prevaziđe fazu embriona, matične ćelije nestaju, a drugi tipovi matičnih ćelija, pod nazivom *zrele* matične ćelije, nastaju u zasebnim tipovima tkiva i specijalizuju se za proizvodnju ćelija za ta tkiva. (U poglavlju 9 opisano je kako se matične ćelije u koštanoj srži pretvaraju u krvne ćelije mnogih vrsta.)

- ✓ **Polne ćelije (gameti):** Stvaraju se podelom, tokom procesa koji se zove *mejoza*, specijalizovanih somatskih ćelija unutar reproduktivnog sistema. Mejoza je jedini ćelijski proces u životnom ciklusu čoveka tokom koga se proizvode *haploidne* ćelije. U poglavlju 14 detaljnije su razmotreni polne ćelije i procesi mejoze.

U tabeli 3-2 dat je kratak pregled ponašanja različitih vrsta ćelija kada nastupi vreme deobe.

**Tabela 3-2 Različito ponašanje pojedinih vrsta ćelija prilikom deobe**

| <i>Vrsta ćelije</i> | <i>Nastaje od</i>           | <i>Deli se?</i> | <i>Uzrokuje nastanak</i>                              |
|---------------------|-----------------------------|-----------------|-------------------------------------------------------|
| Zigot               | Spajanjem dve polne ćelije  | Da              | Dve somatske ćelije                                   |
| Somatska ćelija     | Somatske ili matične ćelije | Da ili Ne*      | Somatskih ćelija; polnih ćelija**                     |
| Matična ćelija      | Matične ćelije              | Da              | Jedne specijalizovane somatske i jedne matične ćelije |
| Polna ćelija        | Somatske ćelije             | Ne              | –                                                     |

\*Neke somatske ćelije diferenciraju se i nikada se neće ponovo podeliti.

\*\*Polne ćelije nastaju procesom mejoze određenih somatskih ćelija. U pitanju su haploidne ćelije i nikada se ponovo ne dele.

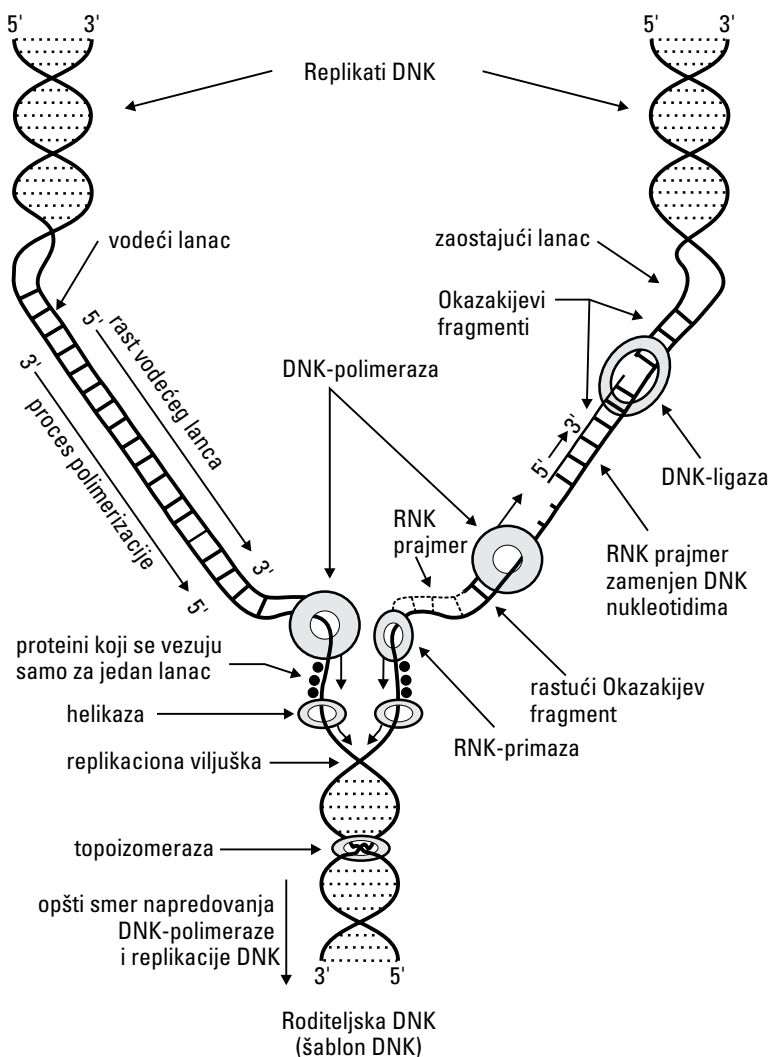
## Međufaza

*Međufaza* počinje kada ćelijska membrana potpuno obuhvati novu ćeliju i traje do početka mitoze ili mejoze. Trajanje međufaze kreće se u rasponu od nekoliko minuta do nekoliko decenija. Uopšteno govoreći (pošto u ćelijskoj biologiji uvek postoje izuzeci), ćelije najveći deo svog diferenciranja i svog rutinskog metabolizma obave tokom međufaze. Matične ćelije rastu, uvećavaju se i redupliciraju (reprodukuju i umnožavaju) organele tokom međufaze, pripremajući se za mitozu (o mitozu nešto više uskoro). Neke druge ćelije stupaju u mitozu nakon produženog perioda uravnoteženog metabolizma. Nekada ćelija ostaje u međufazi više godina, obavljajući svoje fiziološke funkcije sve dok ne odumre.

## Replikacija DNK

*Replikacija DNK* je rani događaj u procesu ćelijske deobe; zbiva se tokom međufaze, neposredno pre početka mitoze ili mejoze, u zaštićenom prostoru unutar omotača jedra. Održavanje celovitosti DNK koda od ključne je važnosti.

Tokom replikacije DNK, mora se rasplesti i „raskopčati“ dvostruka spirala, tako da se dva spiralna lanca DNK razdvoje. Kao što je prikazano na slici 3-6, svaki spiralni lanac postaje šablon za konstrukciju novog komplementarnog spiralnog lanca. Ovaj proces se odvija postepeno duž jednog spiralnog lanca DNK. Ne raspliće se i ne odvaja čitav spiralni lanac DNK odjednom. Kada je gornji deo dvostrukog spiralnog lanca otvoren, prvobitni dvostruki spiralni lanac poprima oblik slova Y. Ovaj delimično otvoren / delimično zatvoren deo gde se replikacija odvija, naziva se *replikaciona viljuška*.



**Slika 3-6:** Proces replikacije DNK.



Na slici 3-6, simboli 5' i 3' (čitaj *pet prim* i *tri prim*) označavaju smer u kome se odvija replikacija DNK. Šablon lanca se čita kao smer od 3' do 5'. Baze komplementarne sa šablonskim lancem dodaju se u smeru od 5' do 3'.

## Mitoza

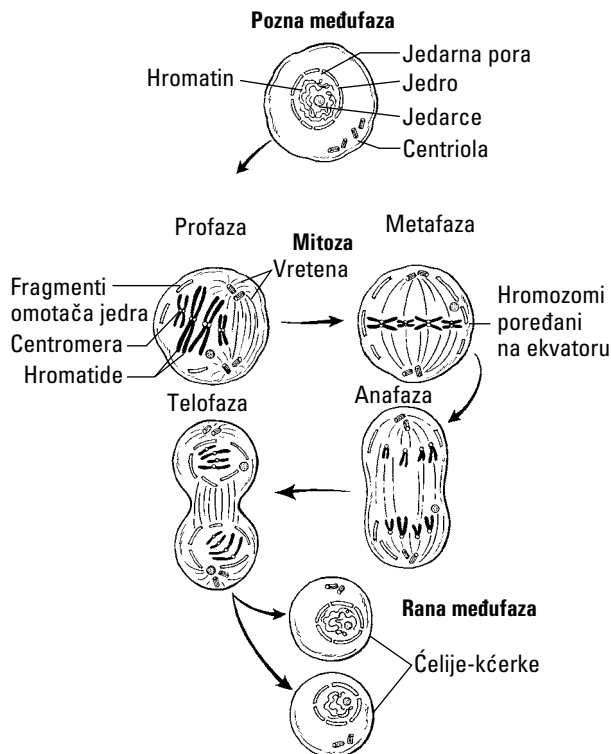
Ćelija stupa u proces *mitoze* (deobe) odgovarajući na signale iz svog jedra. Kao što je prikazano na slici 3-7, mitoza je višefazni proces koji se odvija u sledećim fazama:

- 1. Profaza: Omotač jedra se razgrađuje a udvostručena DNK, u vidu hromatina, zadebljava se i namotava gradeći hromosome.** Svaki udvojeni hromozom sastoji se od dva identična lanca DNK koji se zovu *hromatidi*. Hromatidi su međusobno spojeni proteinskom masom koja se naziva *centromera*. (**Napomena:** kada se hromatidi razdvoje, svaki od njih se smatra novim hromozomom.) Ćelijske strukture poznate pod nazivom *centriole* i *vretensta vlakna* razmiču se prema polovima ćelije i pomeraju hromosome ka sredini ćelije koja se deli.
- 2. Metafaza: Vretenasta vlakna pomeraju hromosome tako da formiraju savršen niz u centru vretena, na pola puta između centriola.** U tom trenutku, 92 hromatide raspoređene su unutar dvostrukog skupa od po 46 hromozoma.
- 3. Anafaza: Centromera se cepa zahvaljujući aktivnosti enzima, a vretenasta vlakna povlače hromatide ka jednoj od centriola: 46 ka jednoj, 46 ka drugoj.** Nakon tog premeštanja, hromozomi postaju *hromozomi-kćerke*, a skup hromozoma na jednom polu identičan je skupu na suprotnom polu ćelije. Ćelija, međutim, još nije potpuno spremna za deobu.
- 4. Telofaza: Stvara se nova jedarna membrana oko oba skupa hromozoma.** Vlakna se razlažu, oslobađajući time hromosome-kćerke.

U tom trenutku, kada se dva identična jedra nalaze na suprotnim polovima ćelije, mitoza je praktično okončana. Potrebno je, međutim, da se i citoplazma ćelije podeli u dve mase, tokom procesa koji se naziva *citokineza*. Središte ćelije-majke uvlači se i steže ćelijsku membranu kroz citoplazmu sve dok se ne stvore dve zasebne ćelije. Dve ćelije-kćerke od tada su u međufazi, a da li će biti podvrgnute procesu diferencijacije ili ne, zavisi od instrukcija koje će primiti od genoma.

Gotovo u 100 odsto slučajeva, replikacija DNK daje dve identične kopije genoma. Mutacije koje se prenose na sledeće generacije posredstvom polnih ćelija, obično su pogubne po organizam, često još u fazi zigota ili embriona. Ali ako mutacije organizmu dozvole opstanak i razmnožavanje, one obezbeđuju sirovinu za „prirodnu selekciju“ u procesu evolucije.





**Slika 3-7:** Faze mitoze: profaza, metafaza, anafaza i telofaza.

## Organizovanje ćelija u tkiva

Tkivo je struktura sačinjena od ćelija – ne nužno istovetnih ali istog porekla – koja obavlja određenu funkciju. Kao što je rečeno u poglavlju 1, tkivo je drugi nivo organizacije organizama, viši od (i veći od) ćelijskog nivoa i niži od (i manji od) nivoa organa.

Kao i gotovo sve drugo u anatomiji, tkiva su brojna i raznovrsna, a grupisana su u srazmerno mali broj „tipova“ kako bismo ih lakše objasnili i shvatili njihovo funkcionisanje. Tkiva tela životinja grupisana su u četiri tipa: *vezivno tkivo*, *epitelno tkivo*, *mišićno tkivo* i *nervno tkivo*. Sva telesna tkiva svrstana su u jednu od ovih grupa.

## Povezivanje vezivnim tkivom

Vezivna tkiva povezuju, podupiru i spajaju strukture tela. Uopšteno govoreći, vezivno tkivo se sastoji od ćelija koje su raštrkane unutar želatinoznog, polučvrstog ili čvrstog matriksa. (*Matriks* je materija koja okružuje ćelije i služi im kao potpora. U keksu s čokoladnim ljuspicama, testo je matriks za čokoladne ljuspice.)

Vezivno tkivo ima mnoge funkcije i stoga mnogo oblika. U nekim delovima tela, kao što su kosti, vezivno tkivo podupire težinu drugih struktura, koje mogu ali i ne moraju biti direktno s njim povezane. Druga vezivna tkiva, poput adipoznog tkiva (jastučići masti), štite druge strukture tako što amortizuju udarce. Naći ćete na mnoga vezivna tkiva u poglavljima koja slede zato što svaki sistem organa sadrži neku vrstu vezivnog tkiva.

U poglavlju 4 detaljnije ćemo razmotriti važna vezivna tkiva – *kost* i *hrskavicu*, a krv, izuzetno bitno vezivno tkivo, u poglavlju 9. (Šta? *Krv* je tkivo? Vezivno tkivo? Da, a videćete i zašto.)

U telu čoveka nalaze se i sledeće vrste vezivnih tkiva:

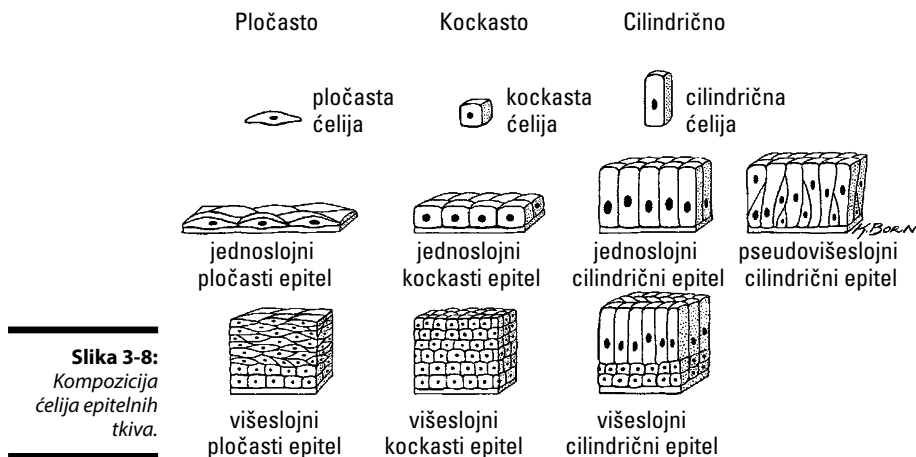
- ✓ **Areolarno (vrsta labavog vezivnog tkiva):** Okružuje i razdava strukture u svakom delu tela. Različite vrste ćelija raspršene su unutar želatinoznog matriksa pod nazivom *amorfn bazična materija*, zajedno s talasastim trakama i cilindričnim nitima proteinskih vlakana.
- ✓ **Gusto vezivno tkivo ravnomerne gustine:** Sekretorne ćelije ovog tipa vezivnog tkiva proizvode guste trake i listove paralelnih proteinskih vlakana, poput onih u ligamentima i tetivama.
- ✓ **Gusto vezivno tkivo neravnomerne gustine:** Proteinska vlakna unutar ovog tipa tkiva raspoređena su u obliku debelih, čvrstih, nepravilno usmerenih snopova. Dermis je tipično tkivo ovog tipa (videti poglavlje 6).
- ✓ **Adipozno tkivo (tip labavog vezivnog tkiva):** Sastavljeno od masnih ćelija, adipozno tkivo služi kao skladište goriva i pruža potporu i zaštitu strukturama koje se nalaze ispod njega.
- ✓ **Retikularno tkivo (tip labavog vezivnog tkiva):** Ovaj tip tkiva javlja se u obliku mreže i funkcioniše kao filter u organima kao što su slezina, limfni čvorovi i koštana srž.

## Nastavljamo s epitelnim tkivom

*Epitelno tkivo* formira epidermis *integumenta* (koža i njoj pripadajuće strukture, kao što su znojne žlezde, lojne žlezde, nokti i folikuli kose i dlaka; videti poglavlje 6), neprekidni omotač spoljne površine tela, i *endotel*, neprekidnu „postavu“ unutrašnjih površina krvnih sudova.

Epitelno tkivo se javlja u obliku deset tipova, definisanih načinom na koji su epitelne ćelije raspoređene i oblikovane (slika 3-8).

- ✓ **Jednoslojni pločasti epitel:** U vidu jednog sloja pločastih ćelija, ovaj tip tkiva služi za brzu difuziju i filtraciju. Endotel alveola (kesica) pluća tipičan je predstavnik tkiva ovog tipa.
- ✓ **Jednoslojni kockasti epitel:** U vidu jednog sloja kockastih ćelija, ovaj tip tkiva služi za apsorpciju (upijanje) i sekreciju (izlučivanje). Tipičan je za žlezde. Kockaste ćelije mogu da proizvode i modifikuju žlezdane izlučevine (na primer znoj, loj i mleko).



**Slika 3-8:**  
Kompozicija  
ćelija epitelnih  
tkiva.

- ✓ **Jednoslojni cilindrični epitel:** Jedan sloj ćelija izduženih u jednoj dimenziji (nalik stubu), obično gusto zbijenih. Poput jednoslojnog kockastog epitela, ovaj tip tkiva služi za sekreciju i apsorpciju. Nalazi se prevashodno u endotelu dela digestivnog trakta – od stomaka do analnog kanala.
- ✓ **Jednoslojni cilindrični trepljast epitel:** Sadrži tip organela poznat pod nazivom *cilije* (treplje) – strukture nalik dlačicama koje djeluju tako da supstance pomeraju duž svojih talasa. Ova tkiva oblažu male cevaste strukture respiratornog sistema i stalno potiskuju mukus duž cevastih struktura kako bi bio eliminisan preko nosa i usta.
- ✓ **Pseudovišeslojni cilindrični epitel:** Jedan sloj cilindričnih ćelija. Imajte na umu da prefiks *pseudo* znači „lažan“. Tkivo izgleda kao višeslojno jer ćelijska jedra nisu poredana tako da formiraju pravilan niz, kao što je to slučaj u jednoslojnom cilindričnom epitelu. U svemu ostalom, ova tkiva su istovetna i imaju slične funkcije apsorpcije i sekrecije. Ovaj tip tkiva čini deo endotela („obloge“) uretre muškaraca.
- ✓ **Pseudovišeslojni cilindrični trepljasti epitel:** Pokušajte sami da odgonetnete značenje ovog termina. (Ako ste pretpostavili da su ove ćelije istovetne s onima koje sačinjavaju pseudovišeslojni cilindrični epitel, s tim što imaju treplje, dobro ste shvatili njegovo značenje!) Ovaj tip tkiva zastupljen je u endotelu cevastih struktura respiratornog sistema, i funkcioniše na manje-više isti način kao jednoslojni cilindrični trepljast epitel.
- ✓ **Višeslojni pločasti epitel:** Sastoji se od nekoliko slojeva ćelija: pločaste epitelne ćelije sa spoljne strane uz dublje slojeve kockastih i cilindričnih epitelnih ćelija. Zastupljen je na mestima gde je spoljni sloj podložan trošenju te ga je potrebno neprekidno zamenjivati. Epidermis kože je primer specifičnog tipa tkiva koji se naziva *keratinizovano višeslojno pločasto epitelno tkivo*.



- ✓ **Višeslojni kockasti epitel:** Nekoliko slojeva kockastih ćelija koje uglavnom služe za zaštitu struktura kao što je konjunktiva oka.
- ✓ **Višeslojni cilindrični epitel:** Višeslojno apsorpciono i sekreciono tkivo. Tkivo koje oblaže kanale za izlučivanje u žlezdama, tipičan je predstavnik ovog tipa tkiva.
- ✓ **Prelazni epitel:** Ćelije ovog tipa tkiva mogu da menjaju svoj oblik – od kupolastog oblika ili oblika tiganja do pločastog (pljosnatog) i obrnuto – zavisno od potreba tkiva. Ovaj tip tkiva nalazi se u endotelu mokraćne bešike, gde je ponekad potrebno obezbediti dodatni prostor za rastezanje. Videti skicu prelaznog epitela u poglavlju 12.

## ***Nekoliko reči o mišićnom tkivu***

Postoje tri tipa mišićnog tkiva: skeletni mišići, glatki mišići i srčani mišić. Sličnosti i razlike u pogledu ćelijskog sastava između ta tri tipa razmotrićemo u poglavlju 5. U poglavlju 5 razmotrićemo takođe anatomiju i fiziologiju velikog sistema organa koji zovemo mišićni sistem, čija su glavna komponenta *skeletni mišići*. U poglavlju 9 razmotrićemo funkcionisanje srčanog mišića u kontekstu krvotoka, kao i ulogu glatkih mišića u cirkulaciji krvi. Ulogu glatkih mišića u sistemu organa za varenje (digestivnom sistemu) prikazaćemo u poglavlju 11.

## ***Nervozni zbog nervnog sistema?***

Nemojte biti. Nervno tkivo je u izvesnom smislu relativno jednostavno: ljudsko telo sadrži samo jedan tip nervnog tkiva, i u najvećoj meri se sastoji od samo jednog tipa ćelija – *neurona*. Mnogo više informacija o nervnom sistemu naći ćete u poglavlju 7 – potrebno je samo da osetite *impuls* da saznate više.

